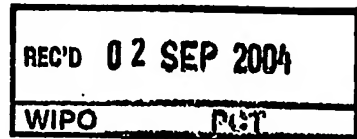


**PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 34 107.2

**Anmeldetag:** 25. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE

**Bezeichnung:** Strahlverfolgung in unstetigen multimodalen  
Kanalwellenleitern

**IPC:** G 02 B 6/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. August 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wehner

**Beschreibung**

Strahlverfolgung in unstetigen multimodalen Kanalwellenleitern

5

Strahlverfolgung in unstetigen multimodalen Kanalwellenleitern

10

Die Erfindung betrifft die Strahlverfolgung in hoch multimodalen Kanalwellenleitern.

15

Zur Berechnung der Strahlausbreitung in dielektrischen Kanalwellenleitern, insbesondere Lichtleitern, stehen bislang wellenoptische Analysemethoden wie die Methode der finiten Element (FEM) oder die 'Beam Propagation Method' (BPM) zur Verfügung. Diese sind jedoch nur dann effizient einsetzbar, wenn nur eine oder wenige Moden zu berücksichtigen sind und der Querschnitt der Wellenleiter, bezogen auf die optische Wellenlänge, nicht allzu groß ist.

20

Für multimodale Stufenindex-Wellenleiter, bei denen der Querschnitt wesentlich größer als die Wellenlänge der verwendeten Strahlung ist, sind hingegen Strahlverfolgungen auf der Basis geometrischer Optik effizient möglich.

30

Hierbei wird (in der Simulation) ein einzelner Strahl vorgegebener Richtung und Polarisierung in den Wellenleiter eingekoppelt. Dieser tritt entweder direkt am Ende des Wellenleiters aus oder wird an der Wand des optischen Kanals, d.h. der Wandfläche des Indexsprungs, reflektiert. Diese Simulation wird für eine Vielzahl von in den Wellenleiter eintretenden Strahlen unterschiedlicher Richtung durchgeführt. Ein Beispiel dieser Art ist in der Patentschrift DE 10051405 C2 zu finden.

35

Dabei besteht ein Problem darin, den jeweiligen Reflektionspunkt zu bestimmen. Für einfache geometrische Formen, ins-

Austritt der Strahlen erfolgt. An den Wandflächen 10b, 10c, 10e und 10f soll die Reflektion der Strahlen überwiegen, um eine Wellenführung zu erzielen. Einige der möglichen Strahlverläufe sind durch die Strahlengänge A, B, C und D dargestellt. In der Zeichnung sind die Brechungen beim Eintritt und Austritt jeweils angedeutet.

Strahl A wird nicht reflektiert; er verläuft vollständig im Innern des Lichtleiters 10, ohne eine der Wandflächen zu berühren. Strahl B wird nur im rechten Teil an der Wandfläche 10c reflektiert. Strahl C wird nur im linken Teil an der Wandfläche 10b reflektiert. Strahl D wird zunächst im linken Teil von der Wandfläche 10f reflektiert und trifft dann im rechten Teil auf die Wandfläche 10c. Da der Einfallswinkel steil ist, findet keine Totalreflexion statt; der Strahl verlässt den Lichtleiter als Verlust.

Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch einen Lichtleiter 11 mit innenliegenden Kanten und daher lokal-konkaven Bereichen. Es soll der Übersichtlichkeit halber angenommen werden, dass die senkrecht zur Zeichenebene stehenden Querschnitte rechteckig seien. Die Struktur nach Fig. 2 kann dann einfach durch Angabe der sechsundzwanzig Eckpunkte im Raum definiert werden. Der Wellenleiter hat dreizehn rechteckige Wandflächen, die senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 2 stehen, und zwei dem sichtbaren Querschnitt entsprechende. Letztere sind nicht nur keine Rechtecke, sondern auch nicht konvex. Es ergeben sich vierzehn Ebenen im Raum, auf denen die Wandflächen liegen. Das oben aufgeführte Extrusionsverfahren ist aus zwei Gründen nicht anwendbar: Dieses betrachtet Lichtstrahlen, die in etwa der Trajektorie folgen, und setzt konvexe Querschnitte voraus.

Eine Lösung nach der Strahlverfolgungsmethode verwendet eine Gerade im Raum, auf der der Beginn des Strahles liegt. Diese ist in Fig. 2 durch die Linie G-G' dargestellt, wobei der Beginn des Lichtstrahls umrandet ist. Sodann werden die

dadurch bestimmt, ob sie auf einer realen Wandfläche liegen; statt dessen wird ermittelt, ob ein Medienübergang vorliegt.

In Fig. 3 ist, wiederum im Längsschnitt, dargestellt, wie sich der Lichtleiter 11 als räumliche Vereinigung von vier Teilstücken 11a, 11b, 11c und 11d darstellt, die der Übersichtlichkeit halber in diesem Beispiel rechteckige oder kreisförmige Längsschnitte haben könnten. Im einfachsten Fall handelt es sich daher um Quader oder Zylinder; im allgemeinen jedoch um die oben erwähnten Extrusionen.

Es handelt sich somit um ein Verfahren zur Bestimmung des Übertragungsverhaltens eines Lichtleiters mit Stufenindexprofil, bei dem der Lichtleiter aus ineinander eintauchenden Leitstücken mit gleichem Kernmaterial zusammengesetzt gedacht wird, so dass die Oberflächen dieser Leitstücke aus realen, außerhalb liegenden, und virtuellen, innerhalb eines anderen Leitstücks liegenden Oberflächen besteht. Das Übertragungsverhalten wird mit geometrischer Strahlverfolgung bestimmt, indem die Schnittpunkte eines Strahls mit den Oberflächen der Leitstücke bestimmt wird, die aus diesem Grunde analytisch definiert sind, insbesondere durch Extrusion von Querschnitten entlang einer Axialtrajektorie. Ein iteratives Vorgehen erlaubt es, einen realen Materialübergang zu bestimmen.

Zur Erläuterung des Verfahrens wird die in Fig. 1 verwendete einfachere Form eines Lichtleiters 10 in Fig. 4 als aus zwei Leitstücken 10.1 und 10.2 mit gleichem Kernmaterial vereinigt gezeigt.

Der Strahl E beginnt am Ausgangspunkt 41 (oder trifft hier aus der Umgebung auf). Es werden nunmehr die Schnittpunkte des Strahls E (d.h. der zugehörigen Geraden) mit den Teilstücken berechnet. Andere Schnittpunkte mit den Verlängerungen der Oberflächen, wie der nicht weiter markierte Schnittpunkt 49, entfallen bereits bei der Berechnung der Schnittpunkte mit dem Teilstück 10.2. Es ergeben sich je zwei Punkte 41 und

mit Null wird. Da jedoch der Zähler von Teilstück 10.2 noch ungleich Null ist, ist Punkt 43 kein Randpunkt.

Bei Punkt 44 wird ein Strahl-Austritt aus Teilstück 10.2 ermittelt und dessen Zähler vermindert. Nunmehr sind alle Zähler Null; damit liegt ein realer Austritt aus dem modellierten Lichtleiter vor.

Die Zähler für die Teilstücke müssen immer dann mehr als ein Bit umfassen, wenn die Teilstücke nicht konvex sind, weil dann ein Stahl mehrfach ein- und austreten könnte.

Anstelle von Zählern kann auch eine Liste der Teilstücke mitgeführt werden; beim Eintritt wird das Teilstück hinzugefügt, beim Austritt ein (beliebiger) Eintrag für das betreffende Teilstück entfernt. Der Austrittspunkt ist erreicht, wenn die Liste leer ist. Auch auf diese Art kann ermittelt werden, ob ein Schnittpunkt erreicht ist, bei dem für jeden Eintritt in ein Teilstück auch ein Austritt aufgetreten ist.

Dabei sind die Zähler bzw. die Liste passend zum Ursprung vorzubesetzen. Im allgemeinen Fall werden die Leitstücke bestimmt, in denen sich der Ursprung befindet, und entsprechend die Zähler für diese Leitstücke auf eins gesetzt bzw. die Leitstücke in die Liste eingetragen. Liegt der Ursprung außerhalb, ist der erste Punkt in Strahlrichtung immer ein realer Eintrittspunkt; dieser Fall muss ggf. vorab behandelt werden. Im laufenden Verfahren liegt der Ursprungspunkt immer auf einer realen Außenwand eines bestimmten Leitstücks; hier muss lediglich der Zähler für dieses Leitstück gesetzt bzw. dieses Leitstück in die Liste eingetragen werden. Lediglich im allgemeinen Fall, in dem der Ursprung im Innern des Lichtleiters befindet, sind alle passenden Leitstücke zu ermitteln.

destens eines Teilstücks liegt. Entsprechend ist für Punkt 43 nur ein Punkt auf der nachfolgenden Strecke zu untersuchen.

5 Am Beispiel des Strahles F in Fig. 4 ergibt sich, dass der Punkt 45 realer Austrittspunkt ist, weil er das Teilstück 10.1 verlässt und damit der Zähler für Teilstück 10.1 Null wird bzw. die Liste der Teilstücke leer geworden ist.

10 Bei einer anderen Variante ist es nicht notwendig, vorab alle Schnittpunkte mit den Oberflächen der Teilstücke zu bestimmen und diese dann sortiert zu verarbeiten. Vielmehr wird einerseits mit Hilfe der Flächennormalen bestimmt, in welcher Richtung des Strahls sich das Material des Teilstücks befindet. Bei einem Eintritt ist das in Strahlrichtung, bei einem 15 Austritt entgegen der Strahlrichtung. Im Beispiel von Punkt 42 in Fig. 4 liegt ein Eintritt vor; damit befindet sich das Material des aktuellen Teilstücks in Strahlrichtung. Nunmehr wird entgegen dieser Richtung ein Punkt 42" benutzt, der um einen vorgegebenen geringen Abstand  $\epsilon$  von der Oberfläche entfernt ist. Der Abstand  $\epsilon$  wird möglichst klein, aber so gewählt, dass Rundungsfehler bei der folgenden Berechnung noch 20 keine Rolle spielen. Von diesem Punkt wird nunmehr ermittelt, ob er sich im Inneren eines der anderen Teilstücke befindet. Ist das der Fall, liegt kein Materialwechsel vor; das Verfahren wird mit dem nächsten Teilstück fortgesetzt. Ist das nicht der Fall, ist ein Austrittspunkt gefunden. Die Reihenfolge, nach der die Teilstücke verprobt werden, wird zweckmäßig so gestaltet werden, dass mit denen begonnen wird, die 30 zuletzt eine Koinzidenz angezeigt haben ('least recently used', LRU Strategie).

Die bevorzugte Variante dieser Ausführungsform bestimmt zunächst alle Schnittpunkte des Probestrahls mit den Oberflächen der Teilstücke, sortiert diese nach Abstand und prüft 35 diese dann in der damit gegebenen Reihenfolge. Dabei wird überprüft, ob der Schnittpunkt zusätzlich im Innern eines weiteren Teilstücks liegt. Ist das der Fall, z.B. für die Punkte

Um diese Problemen von vornherein zu vermeiden, erfolgt bevorzugt die Zerlegung des Lichtwellenleiters derart, dass die Teilstücke keine gemeinsamen Oberflächen haben.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Bestimmung, ob ein realer Materialübergang vorliegt, folgendermaßen erfolgt:

- zunächst werden alle Schnittpunkte des Probestrahls mit den Oberflächen aller Leitstücke bestimmt;
- 5 - diese Schnittpunkte werden in Strahlrichtung aufsteigend sortiert und in dieser Reihenfolge, vom Ursprung ausgehend, untersucht;
- befindet sich der Ursprung außerhalb des Lichtleiters, ist der erste gefundene Schnittpunkt einer mit realem Materialübergang;
- 10 - andernfalls wird für jeden Schnittpunkt je ein weiterer Probepunkt in Strahlrichtung und entgegen Strahlrichtung daraufhin untersucht, ob er im Innern eines der Teilstücke liegt; ist das Ergebnis für beide Probepunkte unterschied-
- 15 - lich, liegt ein Materialübergang vor.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Bestimmung, ob ein realer Materialübergang vorliegt, folgendermaßen erfolgt:

- für die Leitstücke werden nacheinander Schnittpunkte des Probestrahls mit der Oberfläche des Leitstücks bestimmt und mit den nachfolgenden Schritten untersucht;
- 20 - für jeden Schnittpunkt wird je ein Probepunkt in und entgegen Strahlrichtung mit einem kleinen vorgegebene Abstand vom Schnittpunkt bestimmt;
- jeder dieser Probepunkte wird daraufhin untersucht, ob er im Innern eines der Teilstücke liegt; ist das Ergebnis für beide Probepunkte unterschiedlich, liegt ein Materialübergang vor.

5. Verfahren nach Anspruch 3 mit folgender Modifikation:

- mittels der Flächennormalen wird bestimmt, in welcher Richtung ein Austritt aus dem Teilstück vorliegt und ein Probepunkt in dieser Richtung ermittelt; liegt er nicht innerhalb eines anderen Leitstücks, so liegt ein Material-
- 35 - übergang vor.



## Zusammenfassung

## Strahlverfolgung in unstetigen multimodalen Kanalwellenleitern

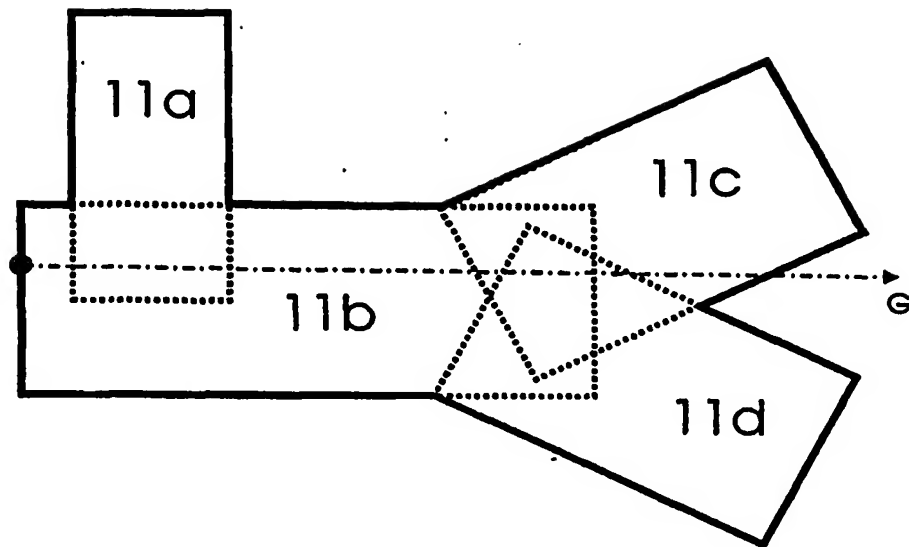
5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Übertragungsverhaltens eines Lichtleiters mit Stufenindexprofil, bei dem der Lichtleiter aus ineinander eintauchenden Leitstücken zusammengesetzt gedacht wird, so dass die Oberflächen dieser Leitstücke aus realen, außerhalb liegenden, und virtuellen, innerhalb eines anderen Leitstücks liegenden Oberflächen bestehen. Das Übertragungsverhalten wird mit geometrischer Strahlverfolgung bestimmt, indem die Schnittpunkte eines Strahls mit den Oberflächen der Leitstücke bestimmt wird, die aus diesem Grunde analytisch definiert sind, insbesondere durch Extrusion von Querschnitten entlang einer Axialtrajektorie. Ein iteratives Vorgehen erlaubt es, einen realen Materialübergang zu bestimmen.

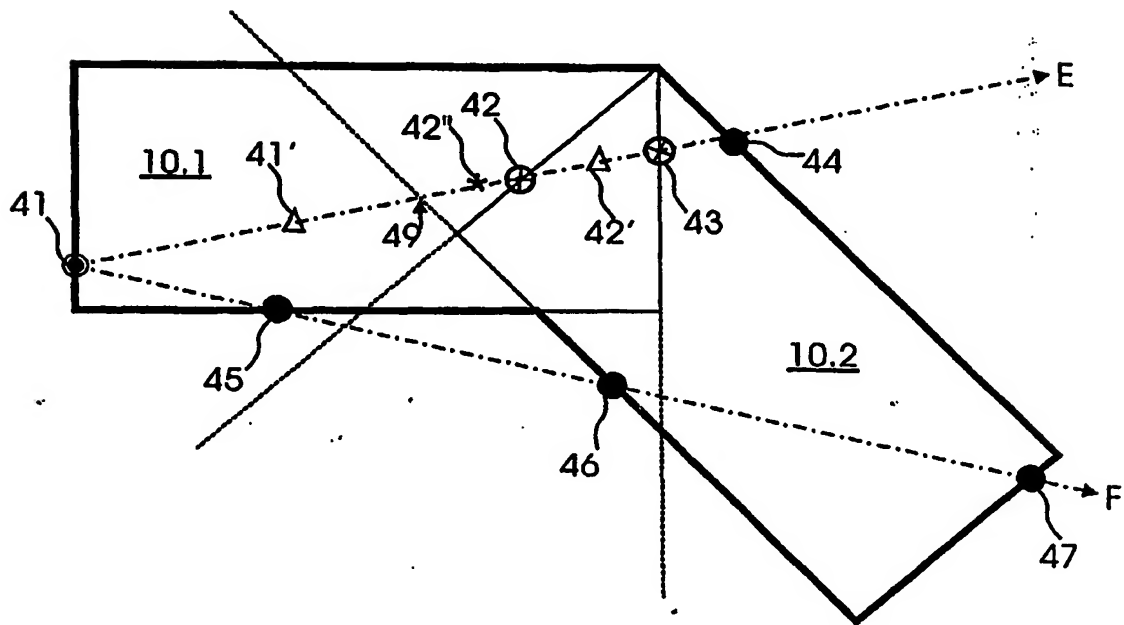
10

15

2/2



**Fig. 3**



**Fig. 4**